DOI: 10.22092/spj.2023.361285.1296

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۸، شماره ۳، سال ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی تحمل به تنش شوری ژنوتیپ‌های جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.)

Evaluation of Salinity Stress Tolerance of Cultivated Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes

شکیبا شاهمرادی[1]* و سید علی طباطبایی[2]

۱- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزشکشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/ ۱۶   تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/ ۲۲

چکیده

شاهمرادی، ش. و طباطبایی، س. ع. ۱۴۰۱. ارزیابی تحمل به تنش شوری ژنوتیپ‌های جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.). **مجله نهال و بذر ۳۸:** ۲۵۹-۲۸۱.

به‌منظور ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری، تعداد ۵۰ ژنوتیپ جو زراعی با منشاء ایران در دو آزمایش مزرعه‌ای طی دو سال زراعی۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات وآموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد (آزمایش شرایط بهینه در ایستگاه مرکزی یزد وآزمایش تنش شوری در ایستگاه شهرستان اردکان) ارزیابی شدند. آزمایش در قالب طرح لاتیس مستطیل ۸×۷ با سه تکرار اجرا شد. هدایت الکتریکی خاک و آب آبیاری در آزمایش بهینه به ترتیب ۳/۴ و ۳/۶ دسی‌زیمنس و در آزمایش شوری به ترتیب ۱۴ و ۱۰ دسی‌زیمنس بود. شاخص شدت تنش (SI) در سال زراعی۹۹-۱۳۹۸، ۰/۲۱ و در سال زراعی ۱۴۰۰-۹۹ این شاخص ۰/۳۲ برآورد شد، که نشان دهنده شدت بیشتر تنش شوری در سال دوم آزمایش بود. برای مقایسه ژنوتیپ‌ها با ارقام اصلاح شده، شش رقم جو زراعی از جمله دو شاهد متحمل به شوری مهر و خاتم، در آزمایش ها گنجانده شد. خصوصیات فنولوژیکی تعداد روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد دانه و وزن هزار دانه برای ژنوتیپ‌ها اندازه‌گیری شد. میانگین عملکرد دانه در شرایط بهینه و تنش شوری در سال اول آزمایش، به ترتیب ۲۱۵ و ۱۷۴ گرم درمترمربع بود و در سال دوم به ترتیب ۲۷۱/۹ و ۱۸۴ گرم درمتر مربع بود. تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد اثر متقابل سال× تنش شوری × ژنوتیپ بر صفات مورد ارزیابی ژنوتیپ‌های جو معنی‌دار بود. بر اساس تجزیه به مولفه‌های اصلی و شاخص‌های تنش، در سال اول آزمایش ژنوتیپ‌های شماره۵۰ (TN5008)،۳۳ (TN4247) و ۳۸ (TN4357) نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشتند. درحالیکه در سال دوم دو ژنوتیپ شماره ۲۴ (TN3474)، ۲۷ (TN3643) به همراه ارقام متحمل خاتم و مهر دارای عملکرد دانه بالاتری بودند. محل جمع‌آوری این دو ژنوتیپ متحمل، به ترتیب استان کرمان و استان فارس بود. با استفاده از نتایج این پژوهش، ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شوری شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: جو، شاخص شدت تنش، تنوع ژنتیکی، سازگاری، عملکرد دانه.

* نگارنده مسئول: shakibashahmoradi@gmail.com   تلفن: ۰۲۶۳۲۷۰۱۲۶۰

مقدمه

شوری خاک یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی است که بر عملکرد محصولات گیاهان زراعی تأثیر می‌گذارد. حدود شش درصد از مساحت کل زمین در معرض خطر شوری قرار دارد که ۲۰ درصد از زمین‌های قابل کشت و ۳۳ درصد از زمین‌های کشت آبی را در بر می گیرد (Shrivastava and Kumar, 2015; Kuang *et al*., 2019; Safdar *et al*., 2019). علاوه بر این، گسترش اراضی شور در حال افزایش است، به‌طوری که سالانه ۱۰ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی به‌دلیل انباشت نمک به‌واسطه فعالیت‌های انسانی و سایر عوامل مرتبط با تغییرات آب و هوایی قابلیت کشت را از دست می‌دهند (Smajgl *et al*., 2015; Isayenkov, 2019).

تنش شوری به‌طور قابل توجهی رشد و بهره‌وری گیاه را کاهش می‌دهد که به‌طور قابل توجهی عملکرد را نیز متاثر می کند (Munns *et al*., 2019). غلظت بالای یون‌های نمک در خاک آثار منفی و سمیت‌های شدید بر روی گیاهان ایجاد می کند. تنش شوری ابتدا جذب آب و مواد مغذی توسط ریشه گیاه را به دلیل تنش اسمزی مختل می کند (Munns, 2005) و سپس هنگامی که گیاه برای مدت طولانی در معرض محیط شور قرار می گیرد، ورود مستقیم و بیش از حد یون‌های سدیم به سلول‌های گیاهی باعث سمیت یونی و عدم تعادل مواد مغذی می‌شود و در فتوسنتز و متابولیسم گیاه اختلال ایجاد می کند (Zhu, 2003; Munns, 2005).

علاوه بر این، هنگامی که گیاهان در معرض تنش شوری قرار می‌گیرند، مقدار زیادی از گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در سلول‌های گیاهی تولید می‌شود که منجر به آسیب جدی و حتی مرگ گیاهان می‌شود. تا به امروز، به‌خوبی ثابت شده است که تنش اسمزی، سمیت یونی و تنش‌های ثانویه (یعنی اکسیداسیون) سه آسیب عمده به گیاهان در پاسخ به تنش شوری هستند (Munns, 2005; Munns and Tester, 2008). با این حال، در بیشتر موارد، این آثار به طور همزمان اتفاق می‌افتند و زمانی که گیاهان با تنش شوری مواجه می‌شوند، پاسخ های فیزیولوژیکی متفاوتی با توجه به ژنوتیپ و مرحله رشدی نشان می‌دهند.

یکی از مؤثرترین و عملی ترین راه‌ها برای به حداقل رساندن آثار زیان آور شوری بر تولید محصول، افزایش توانایی تحمل به شوری در محصولات زراعی است (Luo *et al*., 2019; Sergey, 2013). در واقع و در مقیاس جهانی هیچ ماده‌ای به اندازه نمک رشد گیاهان را محدود نمی کند (FAO, 2015). در ایران، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک حدود ۳۴ میلیون هکتار متاثر از سطوح بالای غلظت نمک در خاک می باشد (FAO, 2015).

شهرنشینی، صنعتی شدن و کشت فشرده به طور چشمگیری بر منابع خاک و آب تأثیر گذاشته است. بهره برداری از آب های زیرزمینی از دهه ۷۰ میلادی تا سال های اخیر حدود چهار

برابـر افـزایش یافتـه اسـت (Emadodin *et al.*, 2012). حدود ۷۷ درصد از زمین‌هـای کشـاورزی آبی از سـطوح مختلـف شـوری آب آبیـاری رنـج مـی‌برنـد (Emadodin *et al.*, 2012). بنـابراین بـه نظر مـی‌رسـد کـه شـوری آب و خـاک تهدیـدی جدی برای کشـاورزی پایـدار درجهـان محسـوب می‌شود (FAO, 2015).

منصور و همکـاران (Mansour *et al.*, 2021) درآزمایش‌هـای مزرعـه‌ای در اقلـیم مدیترانـه‌ای واکـنش بیسـت و یـک ژنوتیـپ مختلـف جـو را نسبت به تنش شـوری مـورد ارزیـابی قـرار دادنـد. نتـایج نشـان داد تنـوع قابـل‌توجهی در واکـنش ژنوتیپ‌های مختلف جـو نسـبت بـه تـنش شـوری وجـــود داشـــت. شـــاهمرادی و همکـــاران (Shahmoradi *et al.*, 2018) با ارزیـابی واکـنش ژرم‌پلاسم جو بومی ایران نسـبت بـه تـنش شـوری گزارش کردند که در شرایط تنش شوری وبهینـه، علاوه بر عملکرد دانه خصوصیات فنولوژیکی مثل تعداد روزتاگلـدهی و روز تـا رسـیدن نیـز ارتبـاط معنـی‌داری بـا تحمـل بـه شـوری داشـتند. بررسـی تحمل به تـنش شـوری در ۳۴۰ تـوده جـو زراعـی و ۲۹۹ گونــه وحشــی ازایــن جــنس در مرحلــه جوانـه‌زنـی نشـان داد کـه تحمـل نسـبت بـه تـنش شوری در گونه‌هـای وحشـی بیشـتر از گونـه‌هـای زراعی بود (Mano and Takeda, 1998).

ارزیابی تنوع ژنتیکی و تحمل بـه تـنش هـای غیرزیستی برای توسعه برنامه‌های بـه نـژادی جـو به‌منظور افزایش بهره‌وری محصـول مهـم اسـت. روش‌های مختلفی برای مطالعه تنـوع ژنتیکـی و سازکارهای فیزیولوژیکی در گونـه‌های گیـاهی استفاده شـده اسـت (El-Esawi *et al.*, 2018). این مطالعـات سـطوح مختلفـی از تنـوع را بـرای ژرم پلاسم جو ثبت کرده اند و اطلاعات مفیدی برای درک تنوع در ژرم پلاسم ارائه کردنـد. بـا این حال اکثر آنها تعداد محدودی از ژنوتیپ‌هـا را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قـرار داده انـد. بنابراین، هنوز اطلاعات بیشـتری در مـورد تنـوع ژنتیکی، ساختار و روابط ژنتنیکـی ژنوتیپ‌هـای جو با منشاء مختلف مورد نیاز است.

ایـن پـژوهش، بـا هـدف ارزیـابی ژنوتیـپ‌هـای منتخب جو زراعی از آزمایشات مقدماتی در شرایط تـنش شـوری (Shahmoradi *et al.*, 2018)، و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تـنش شـوری بـرای استفاده در برنامه های به نژادی، در یزد انجام شد.

مواد و روشها

ایـن پـژوهش در دو سـال زراعـی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در قالب طرح لاتـیس مسـتطیل بـا سـه تکرار در ایستگاه های تحقیقاتی مرکـز تحقیقـات و آمـوزش کشـاورزی و منـابع طبیعـی یـزد (یـزد و اردکـان) اجـرا شـد. ایـن دو ایسـتگاه از نظـر آب و هوایی بسیار مشـابه مـی باشـند. در ایـن آزمـایش ۵۰ ژنوتیپ منتخب جو زراعی از کلکسیون ژرم‌پلاسـم جو زراعی بانک ژن گیاهی ملی ایران، کـه پـس از جداسـازی مورفوتیـپ‌هـا و حصـول یکنـواختی در آزمایشات شـوری برتـری نشـان دادنـد، در شـرایط بهینـه و تـنش شـوری در شـرایط محیطـی یـزد و اردکان مورد ارزیابی قرار گرفتند(جدول۱).

جدول ۱- پنجاه ژنوتیپ‌های جو مورد ارزیابی در آزمایش شوری

Table 1. Fifty cultivated barley genotypes evaluated for salinity tolerance

شماره No.	شماره نمونه ژنتیکی/ژنوتیپ Accession/Genotype no.	Province	استان	City	شهر	شماره No.	شماره نمونه ژنتیکی/ژنوتیپ Accession/Genotype no.	Province	استان	City	شهر
1	KC70233	Esfahan	اصفهان	Unknown	ناشناخته	26	TN3490	Khorasan	خراسان	Nishabour	نیشابور
2	KC70343	Khorasan	خراسان	Bojnourd	بجنورد	27	TN3643	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
3	KC70344	Khorasan	خراسان	Bojnourd	بجنورد	28	TN3646	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
4	TN0222	Yazd	یزد	Yazd	یزد	29	TN3748	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
5	TN0224	Yazd	یزد	Yazd	یزد	30	TN3947	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
6	TN0258	Yazd	یزد	Yazd	یزد	31	TN4006	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
7	TN0586	Yazd	یزد	Yazd	یزد	32	TN4104	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
8	TN0601	Kerman	کرمان	Kerman	کرمان	33	TN4247	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
9	TN0605	Kerman	کرمان	Kerman	کرمان	34	TN4332	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
10	TN3243	Yazd	یزد	Bafgh	بافق	35	TN4333	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
11	TN3244	Yazd	یزد	UnKnown	ناشناخته	36	TN4337	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
12	TN3245	Yazd	یزد	Bafgh	بافق	37	TN4354	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
13	TN3247	Yazd	یزد	Mehriz	مهریز	38	TN4357	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
14	TN3285	Yazd	یزد	Yazd	یزد	39	TN4461	Yazd	یزد	Mehriz	مهریز
15	KC20019	Yazd	یزد	Ardakan	اردکان	40	TN4596	Zanjan	زنجان	Khodabandeh	خدابنده
16	KC20037	Boushehr	بوشهر	Boshehr	بوشهر	41	TN4847	Kurdestan	کردستان	Ghorveh	قروه
17	TN6135	Unknown	ناشناخته	Unknown	ناشناخته	42	TN4891	Lorestan	لرستان	Khorramabad	خرم آباد
18	KC20418	Yazd	یزد	Yazd	یزد	43	TN4902	Boushehr	بوشهر	Dashtestan	دشتستان
19	KC20966	Khuzestan	خوزستان	Shoshtar	شوشتر	44	TN4904	Boushehr	بوشهر	Dashtestan	دشتستان
20	KC70443	Lorestan	لرستان	Khorramabad	خرم آباد	45	TN4905	Boushehr	بوشهر	Dashtestan	دشتستان
21	TN3454	Lorestan	لرستان	Borujerd	بروجرد	46	TN4910	Bouushehr	بوشهر	Dashtestan	دشتستان
22	TN3456	West Azarbaijan	آذربایجان غربی	Salmas	سلماس	47	TN4911	Boshehr	بوشهر	Dashtestan	دشتستان
23	TN3470	Kerman	کرمان	Jiroft	جیرفت	48	TN4923	Boushehr	بوشهر	Dashti	دشتی
24	TN3474	Kerman	کرمان	Jiroft	جیرفت	49	TN4928	Boshehr	بوشهر	Dashti	دشتی
25	TN3477	Kerman	کرمان	Jiroft	جیرفت	50	TN5008	West Azarbaijan	آذربایجان غربی	Miandoab	میاندوآب

میانگین نتایج آزمایش خاک در ایستگاه یزد (شرایط بهینه) نشان داد که هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری در حدود ۳/۴ دسی‌زیمنس و هدایت الکتریکی آب آبیاری درحدود ۳/۶ دسی‌زیمنس بود. در مزرعه تحقیقات شوری اردکان یزد(شرایط تنش شوری شوری)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک، در حدود ۱۴ دسی‌زیمنس و هدایت الکتریکی آب آبیاری درحدود ۱۰ دسی‌زیمنس بود.

به منظور مقایسه ژنوتیپ‌های مورد بررسی با ارقام اصلاح شده، شش رقم جو تجاری از جمله ارقام نصرت، نیمروز و گوهران و دو شاهد متحمل به شوری شامل ارقام مهر و خاتم (Ghazvini, *et al*., 2016; Nikkhah *et al*., 2019) و شاهد نیمه‌حساس یوسف نیز در آزمایش ها گنجانده شدند. آزمایش در قالب طرح لاتیس مستطیل ۸×۷ با دو تکرار اجرا شد. کاشت ژنوتیپ‌ها درآبان در دو خط دو متری با فاصله خطوط ۳۰ سانتیمتر در بلوک‌هایی شامل هفت واحد آزمایشی انجام گرفت.

در این آزمایش ها علاوه بر یادداشت برداری خصوصیات فنولوژیکی مثل تعداد تا روزتاگلدهی و روزتارسیدگی فیزیولوژیکی، صفات ارتفاع گیاه، میزان عملکرددانه و وزن هزاردانه نیز اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه پس از برداشت کل کرت و خرمنکوبی، بر حسب گرم درمترمربع محاسبه شد. شاخص‌های تنش شامل میانگین عملکرد(MP)، تحمل(TOL)، میانگین هندسی عملکرد(GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) براساس عملکرد دانه در شرایط تنش شوری (Y_S) و نرمال(Y_P) در ژنوتیپ‌های جو محاسبه گردید (Fischer and Maurer, 1978; Fernandez, 1992). همچنین شاخص شدت تنش (SI) براساس میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش شوری ($\bar{Y}_S$) و شرایط نرمال($\bar{Y}_P$) محاسبه شد(Fischer and Maurer, 1978) .

برای بررسی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی و بررسی امکان انجام تجزیه واریانس مرکب داده‌ها آزمون لون انجام شد و سپس تجزیه واریانس بر اساس طرح لاتیس مستطیل انجام شد. به منظور ارزیابی روابط صفات و نقش آنها در میزان تنوع از ضرایب همبستگی و تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده شد. به منظور بررسی روابط صفات و شاخص‌های تنش همچنین ارزیابی دقیق‌تر ژنوتیپ‌ها، نمودار بای‌پلات براساس صفات مورد ارزیابی در شرایط بهینه و شرایط تنش شوری و شاخص‌های تنش، رسم گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Stat Graphics و نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده ها برای صفات ژنوتیپ‌های جو زراعی مورد ارزیابی در دو سال زراعی و دو شرایط بهینه و تنش شوری در ایستگاه تحقیقاتی اردکان و یزد در جدول۲ نشان داده شده است. اثر تنش شوری تنها وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. این درحالی است که اثر متقابل سال × تنش شوری بر همه صفات بجز وزن هزاردانه معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۲ - تجزیه مرکب صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های جو زراعی در دو سال زراعی و شرایط تنش شوری و بدون تنش

Table 2. Combined analysis of variance for traits in barley genotypes in two growing seasons under normal and salt stress conditions

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	روزتاگلدهی Days to flowering	روزتارسیدگی فیزیولوژیکی Days to physiological maturity	ارتفاع گیاه Plant height	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزاردانه 1000-kernel weight
Year (Y)	سال	1	1774.50	1052.50	644.29	24295.31	19.52
Salt stress (S)	تنش شوری	1	470.00	7.93	40362.00	65977.60	43.38**
Y × S	سال×تنش	1	2585.00**	9115.50**	8657.3**	76514.10**	0.03
Y ×S (Rep)	سال×تنش(تکرار)	8	16.71	2.26	34.53	2058.20	0.27**
Rep (Block)	تکرار(بلوک)	21	16.08	8.08	31.05	2180.45 ns	0.09
Y×S (Rep(Block))	سال*تنش(تکرار(بلوک))	84	22.47**	10.89**	48.69**	2289.43**	0.09**
Genotype (G)	ژنوتیپ	55	402.20**	117.75**	236.86**	9314.40	1.03**
G × Y	ژنوتیپ × سال	55	32.37*	7.54	76.88	7722.60**	0.15
G × S	ژنوتیپ × تنش	55	23.25	15.42	113.68*	6965.90*	0.15
Y × S × G	سال×تنش×ژنوتیپ	55	17.77**	29.58**	80.02**	4055.01**	0.14**
Error	خطا	356	6.72	4.62	19.79	1051.04	0.49

* and **: Significant at the 5% and 1% probability level, respectively.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که بین ژنوتیپ ها از نظر خصوصیات فنولوژیکی مثل تعداد روزتاگلدهی و روزتارسیدگی فیزیولوژکی و همچنین ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول۲). این نشان از وجود تنوع برای صفات مورد ارزیابی در میان ژنوتیپ‌های جو زراعی بود که توسط شاهمرادی و همکاران نیز گزارش شده است (Shahmoradi, 2021). وجود تنوع در منابع ژنتیکی جو با قابلیت سازگاری با شرایط محیطی بسیار متفاوت باعث شده است ذخایر توارثی این گیاه برای تحمل/مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزنده مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد (Dawson *et al.*, 2015).

تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر متقابل سال × ژنوتیپ بر تعداد روزتاگلدهی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در حالیکه اثر متقابل سال × ژنوتیپ بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌داربود (جدول ۲). اثر متقابل ژنوتیپ × تنش شوری بر ارتفاع گیاه و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. سایر پژوهشگران نیز وجود اثر متقابل معنی‌دار ژنوتیپ × تنش شوری را گزارش کرده اند (Mansour *et al.*, 2021). بنابراین انتظار می رفت ژنوتیپ‌های جو نسبت به تنش شوری واکنش های متفاوتی داشته باشند. اثر متقابل ژنوتیپ × تنش شوری × سال بر کلیه صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال یک درصد معنی‌داربود (جدول۲). این نشان می‌دهد که این صفات تحت تاثیر عوامل ژنتیکی و محیطی می‌باشند. بنابراین، تجزیه و تحلیل واکنش ژنوتیپ ها نسبت به شرایط شوری به طور جداگانه در هر سال مورد بررسی قرار می گیرد.

آماره‌های توصیفی برای صفات کمی ژنوتیپ‌های جو زراعی مورد ارزیابی در دو سال زراعی در شرایط محیطی بهینه و تنش شوری در جدول ۳ ارائه شده است. در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بررسی و مقایسه میانگین خصوصیات فنولوژیکی مثل تعداد روزتاگلدهی و روزتا-رسیدگی فیزیولوژیکی در شرایط بهینه (به ترتیب ۱۲۶ و ۱۶۹ روز) و تنش شوری (به ترتیب ۱۲۴ و ۱۶۱ روز) نشان داد که میانگین این خصوصیات در شرایط تنش شوری کاهش نشان داد (جدول ۳). میانگین ارتفاع گیاه در شرایط بهینه ۸۸ سانتیمتر بود، درحالی‌که در شرایط تنش شوری به حدود ۶۶ سانتیمتر کاهش یافت (جدول ۳). بنابراین ارتفاع گیاه بیشتر از خصوصیات فنولوژیکی تحت شرایط تنش شوری قرار گرفت.

در شرایط بهینه میانگین عملکرد دانه (۲۱۵ گرم در متر مربع) و وزن هزاردانه (۴۱/۴ گرم) بیشتر از میانگین عملکرد۱۷۴ دانه (گرم درمترمربع) و وزن هزاردانه (۳۲/۳ گرم) در شرایط تنش شوری بود (جدول ۳). دامنه تغییرات برای کلیه صفات کمی بجز ارتفاع گیاه در اثر تنش شوری کاهش یافت. بررسی ضریب‌تغییرات، در هر دو شرایط، نشان داد که بیشترین تنوع برای عملکرد دانه، ارتفاع گیاه و وزن هزاردانه بود. ضریب تغییرات برای عملکرد دانه در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط بهینه افزایش یافت. شاهمرادی و همکاران(Shahmoradi *et al.*, 2018)

جدول ۳ – آماره‌های توصیفی برای صفات کمی ژنوتیپ‌های جو زراعی در شرایط بهینه (یزد) و تنش شوری (اردکان) در سال های زراعی ۹۹–۱۳۹۸ و ۱۴۰۰–۱۳۹۹

Table 3. .Descriptive statistics for quantitative traits of cultivated barley genotypes under optimum (Yazd) and salinity stress (Ardakan) conditions in 2019-2020 and 2020-2021 cropping seasons

		Optimum بهینه					Salinity stress تنش شوری				
		حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	خطای استاندارد SE	ضریب تغییرات C.V.	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	خطای استاندارد SE	ضریب تغییرات C.V.
2019-2020											
Days to flowering	روز تا گلدهی	110	148	126.52	0.58	6.02	119	151	124.3	0.62	6.47
Days to physiological maturity	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی	160	184	169.33	0.49	3.79	151	170	161.7	0.24	1.93
Plant height(cm)	ارتفاع گیاه (سانتیمتر)	68	110	88.98	0.56	8.21	40	94	66.30	0.62	12.15
Grain yield (g m^{-2})	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	71.4	449.0	215.83	5.83	35.06	78	290	174.7	3.69	27.39
1000-kernel weight (g)	وزن هزاردانه (گرم)	24.2	47.3	41.4	0.03	11.02	21.3	43.0	32.3	0.04	14.94
2020-2021											
Days to flowering	روز تا گلدهی	111	146	131.5	0.63	6.22	111	140	125.8	0.45	4.637
Days to maturity	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی	159	182	171.6	0.38	2.91	158	173	164.5	0.23	1.81
Plant hight (cm)	ارتفاع گیاه (سانتیمتر)	57	112	79.94	0.74	11.98	55	88	71.52	0.53	9.70
Grain yield (g m^{-2})	عملکرد دانه (گرم درمترمربع)	143	399	271.9	4.01	21.94	90	340	184.2	3.97	28.1
1000-kernel weight (g)	وزن هزاردانه (گرم)	29.3	50.4	40.83	0.03	10.22	22.1	44.0	33.2	0.04	13.94

Min.: Minimum, Max.: Maximum, SE: Standrad error, C.V.: Cofficient of variation,

نیز افزایش میزان واریانس برای عملکرد دانه درشرایط تنش شوری را گزارش کردند.

بررسی آماره‌های توصیفی برای صفات اندازه گیری شده ژنوتیپ‌های جو زراعی در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ و مقایسه میانگین تعداد روزتا گلدهی و روزتارسیدگی فیزیولوژیکی در شرایط بهینه (به ترتیب ۱۳۱ و ۱۷۱ روز) و در شرایط تنش شوری (به ترتیب ۱۲۵ و ۱۶۴ روز) بود. این نتایج درسال ۱۳۹۸-۹۹ نیز مشاهده شد. بنابراین در شرایط تنش شوری طول دوره مراحل فنولوژیکی و چرخه زندگی ژنوتیپ ها کوتاه تر شد. (جدول۳).

در هر دو سال آزمایش میانگین ارتفاع گیاه در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط نرمال کاهش چشمگیری نشان داد(جدول ۳). میانگین ارتفاع گیاه در شرایط بهینه ۷۹ سانتیمتر بود، درحالی که در شرایط تنش شوری به ۷۱ سانتیمتر کاهش یافت. ابو قداره و همکاران (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2021) اگزارش کردند که در ارزیابی تحمل به تنش شوری ۲۰ ژنوتیپ جو، تا ۶۰ درصدکاهش در وزن خشک ساقه در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط بهینه وجود داشت. آنها این کاهش در وزن خشک ساقه را به کاهش ارتفاع گیاه نسبت دادند.

در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، میانگین عملکرد دانه و وزن هزاردانه در شرایط بهینه (به ترتیب ۲۷۱/۹ گرم درمتر مربع و ۴۰/۸ گرم) بیشتر از میانگین این صفات در شرایط تنش شوری (به ترتیب ۱۸۴ گرم درمتر مربع و۳۳/۲ گرم) بود. محاسبه شاخص شدت تنش (SI) بر اساس فرمول فیشر و ماورر (Fischer and Maurer, 1978)در دو سال آزمایش نشان داد این شاخص در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸، ۰/۲۱ و در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ این شاخص ۰/۳۲ برآورد شد. بنابراین بر اساس این شاخص شدت تنش در سال دوم آزمایش بیشتر بود و بر کلیه صفات اندازه گیری شده اثر کاهندهبیشتری داشت. بررسی ضریب تغییرات در هر دو شرایط در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نیز نشان‌دهنده وجود بالاترین ضریب تغییرات برای عملکرددانه (۲۸/۱درصد)، وزن هزاردانه (۱۳/۹درصد) و ارتفاع گیاه (۹/۷درصد) بود که تنوع ژنوتیپ‌های جو برای این صفات را نشان داد (جدول ۳).

ضرایب همبستگی بین صفات در ژنوتیپ‌های جو زراعی مورد بررسی در شرایط بهینه و تنش شوری با شاخص‌های تنش در سال ۱۳۹۸-۹۹ در جدول ۴ ارائه شده است. همانطور که پیش‌بینی می‌شد، همبستگی بسیار معنی‌داری ($P < 0.01$) بین شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) با عملکرد دانه و وزن هزاردانه در شرایط بهینه و تنش شوری وجود داشت. ارتفاع گیاه نیز همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) نشان داد و ضریب همبستگی در شرایط بهینه با شاخص تحمل ($r = ۰/۴۷^{**}$) بالاتر بود (جدول۴). در شرایط تنش شوری ضریب همبستگی ارتفاع گیاه نیز با شاخص‌های تنش ($r = ۰/۳۴^{*}$) معنی دار بود (جدول ۴).

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات مورد ارزیابی در شرایط بهینه (N) و تنش شوری(S) و شاخص های تنش در ژنوتیپ های جو زراعی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ (d.f. = 54)

Table 4. Correlation coefficients between evaluated traits under optimum (N) and salinity stress (S) conditions and stress indices in cultivated barley genotypes in 2019-2020 cropping season (df = 54)

	روز تا گلدهی (بهینه) DF (N)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (بهینه) DM (N)	ارتفاع گیاه (بهینه) PH (N)	عملکرد دانه (بهینه) GY(N)	وزن هزاردانه (بهینه) TKW (N)	روز تا گلدهی (تنش) DF (S)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (تنش) DM (S)	ارتفاع گیاه (تنش) PH (S)	عملکرد دانه (تنش) GY (S)	وزن هزاردانه (تنش) TKW (S)	میانگین حسابی عملکرد MP	تحمل TOL	میانگین هندسی عملکرد GMP
DF (N)	1												
DM (N)	0.91**	1											
PH (N)	-0.19	-0.13	1										
GY (N)	-0.28*	-0.27*	0.65**	1									
TKW (N)	-0.18	-0.10	0.38**	0.38**	1								
DF (S)	0.86**	0.87**	-0.01	-0.18	-0.15	1							
DM (S)	0.65**	0.64**	-0.26	-0.13	-0.05	0.66**	1						
PH (S)	0.02	-0.03	-0.15	0.15	0.13	-0.11	0.33*	1					
GY (S)	-0.37**	-0.34*	0.08	0.44**	0.31*	-0.43**	0.06	0.44**	1				
KW (S)	-0.35**	-0.38**	-0.09	0.20	0.46**	-0.38**	0.15	0.44**	0.56**	1			
MP	-0.37**	-0.35**	0.49**	0.91**	0.42**	-0.33*	-0.06	0.32*	0.78**	0.41**	1		
TOL	-0.03	-0.05	0.64**	0.76**	0.18	0.12	-0.18	-0.16	-0.25	-0.19	0.41**	1	
GMP	-0.38**	-0.35**	0.45**	0.86**	0.40**	-0.35**	-0.05	0.34*	0.83**	0.44**	0.99**	0.31*	1
STI	-0.36**	-0.32*	0.47**	0.85**	0.41**	-0.34*	-0.05	0.34*	0.82**	0.43**	0.98**	0.31*	0.99**

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

DF: Days to flowering, DM: Days to physiological maturity, PH: Plant height, GY: Grain yield, TKW: 1000-kernel weight, MP: Mean productivity, TOL: Tolerance, GMP: Geometric mean productivity, STI: Stress tolerance index.

ارتفاع گیاه با عملکرد دانه در هر دو شرایط بهینه ($r = ۰/۶۵^{**}$) و تنش شوری ($r = ۰/۴۴^{**}$) همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار داشت (جدول ۴). این امر نشان‌دهنده اهمیت ارتفاع گیاه در تولید زیست توده و به تبع آن بر عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بهینه بود. همبستگی وزن هزار دانه نیز با عملکرد دانه در هر دو شرایط بهینه ($r = ۰/۳۸^{**}$) و تنش شوری ($r = ۰/۵۶^{**}$) مثبت و بسیار معنی‌دار بود (جدول ۴). این یافته ها با نتایج سایر پژوهشگران (Shahmoradi *et al.*, 2018; Mansour *et al.*, 2021) در خصوص همبستگی وزن هزاردانه با شاخص تحمل تنش موافقت دارد.

ضریب همبستگی بین تعداد روزتا گلدهی با شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) منفی و بسیار معنی‌دار ($P < 0.01$) بود (جدول ۴). همبستگی منفی و بسیار معنی دار بین تعداد روزتا رسیدگی فیزیولوژیکی با شاخص‌های تنش در شرایط بهینه نیز مشاهده شد. از آنجایی که در تنش شوری همبستگی بین تعداد روز تا گلدهی و عملکرد دانه منفی و معنی‌دار بود، در نتیجه ژنوتیپ‌های زودرس تر عملکرد دانه بیشتری داشتند.

ضرایب همبستگی بین صفات ژنوتیپ‌های جو زراعی مورد بررسی در شرایط بهینه و تنش شوری در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در جدول ۵ ارائه شده است. ضریب همبستگی بین تعداد روزتاگلدهی با شاخص تحمل (TOL) منفی و بسار معنی دار بود (جدول ۵). این همبستگی منفی و بسیار معنی دار برای تعداد روزتارسیدگی فیزیولوژیکی نیز در شرایط بهینه و تنش شوری نیز مشاهده شد. از آنجایی که در شرایط بهینه همبستگی میان تعداد روزتاگلدهی و عملکرد دانه منفی و معنی‌دار بود، به تبع آن ژنوتیپ‌های زودرس تر عملکرد دانه بیشتری داشتند.

ارتفاع گیاه در شرایط بهینه همبستگی مثبت معنی‌داری را با شاخص‌های تنش داشت (جدول ۵). در شرایط تنش شوری همبستگی ارتفاع گیاه با شاخص‌های میانگین عملکرد (MP) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) مثبت و معنی‌دار ($P < 0.05$) بود. ارتفاع گیاه در شرایط بهینه با عملکرد دانه همبستگی معنی‌دار نشان داد. همبستگی بسیارمعنی‌داری ($P < 0.01$) بین شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) با عملکرد دانه در شرایط بهینه و تنش شوری وجود داشت (جدول ۵)

مقادیر شاخص‌های تنش در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی و ارقام شاهد درجدول۶ ارائه شده است. براساس شاخص STI که با توجه به همبستگی قوی آن با عملکرد دانه بهترین شاخص برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها شناسایی شد، در سال زراعی۹۹-۱۳۹۸ ارقام شاهد نصرت، یوسف و گوهران به همراه ژنوتیپ‌های شماره ۵۰ (TN5008)، ۳۸ (TN4357) و ۳۳ (TN4247) بالاترین مقدار شاخص تحمل به تنش شوری را داشتند. در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ارقام شاهد مهر و خاتم به همراه ژنوتیپ‌های شماره ۲۴ (TN3474)، ۲۷ (TN3643) و ۱ (KC70233) شاخص تحمل بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان دادند (جدول ۶).

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد ارزیابی در شرایط بهینه (N) و تنش شوری(S) و شاخص های تنش در ژنوتیپ های جو در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹(d.f. = 54)

Table 5. Correlation coefficients between evaluated traits under optimum (N) and salinity stress (S) conditions and stress indices in cultivated barley genotypes in 2020-2021 cropping season (d.f. = 54)

	روز تا گلدهی (بهینه) DF (N)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (بهینه) DM (N)	ارتفاع گیاه (بهینه) PH (N)	عملکرد دانه (بهینه) GY (N)	وزن هزاردانه (بهینه) TKW (N)	روز تا گلدهی (تنش) DF (S)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (تنش) DM (S)	ارتفاع گیاه (تنش) PH (S)	عملکرد دانه (تنش) GY (S)	وزن هزاردانه (تنش) TKW (S)	میانگین حسابی عملکرد MP	شاخص تحمل TOL	میانگین هندسی عملکرد GMP
DF (N)	1												
DM (N)	0.82**	1											
PH (N)	-0.24	-0.20	1										
GY (N)	-0.29*	-0.26*	0.64**	1									
TKW (N)	-0.11	0.07	0.47**	0.16	1								
DF (S)	0.88**	0.81**	-0.23	-0.20	0.01	1							
DM (S)	0.78**	0.75**	-0.12	-0.21	0.11	0.81**	1						
PH (S)	-0.49**	-0.37**	0.17	0.21	-0.13	-0.42**	-0.46**	1					
GY (S)	0.15	0.22	-0.06	0.24	-0.24	0.16	0.37**	0.22	1				
KW (S)	-0.21	-0.19	0.00	0.05	0.29*	-0.16	-0.39**	0.19	-0.42**	1			
MP	-0.08	-0.02	0.36**	0.78**	-0.05	-0.02	0.11	0.27*	0.79**	-0.24	1		
TOL	-0.36**	-0.39**	0.56**	0.59**	0.32*	-0.29*	-0.47**	-0.01	-0.63**	0.39**	-0.04	1	
GMP	-0.08	-0.03	0.34*	0.77**	-0.08	-0.03	0.10	0.27*	0.81**	-0.25	0.99**	-0.05	1
STI	-0.05	0.01	0.34*	0.76**	-0.08	-0.01	0.13	0.26	0.81**	-0.26	0.99**	-0.06	0.99**

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

DF: Days to flowering, DM: Days to physiological maturity, PH: Plant height, GY: Grain yield, TKW: 1000-kernel weight, MP: Mean productivity, TOL: Tolerance, GMP: Geometric mean productivity, STI: Stress tolerance index.

جدول ۶- شاخص‌های تنش برای ژنوتیپ‌های جو زراعی در سال های زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰- ۱۳۹۹

Table 6. Stress indices for cultivated barley genotypes in 2019-2020 and 2020-2021 cropping seasons

	2019-2020						2020-2021				
شماره No.	شماره نمونه ژنتیکی/ژنوتیپ Accession/Genotype no.	میانگین حسابی MP	تحمل TOL	میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل تنش STI	شماره No.	شماره نمونه ژنتیکی/ژنوتیپ Accession/Genotype no.	میانگین حسابی MP	تحمل TOL	میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل تنش STI
1	70233	161.30	71.26	157.31	0.53	1	70233	291.08	18.83	290.90	1.12
2	70343	96.38	-37.23	94.56	0.19	2	70343	264.41	12.16	264.30	0.93
3	70344	132.10	3.53	132.08	0.37	3	70344	216.83	50.33	215.36	0.61
4	18040	164.23	41.13	162.94	0.56	4	18040	206.25	12.50	206.15	0.56
5	18042	125.48	26.96	124.75	0.33	5	18042	232.08	-19.16	231.88	0.71
6	18074	183.33	80.66	178.84	0.68	6	18074	189.50	-51.00	187.77	0.47
7	18396	171.71	-23.23	171.32	0.63	7	18396	187.50	25.00	187.08	0.46
8	18410	225.90	105.8	219.61	1.03	8	18410	226.25	12.50	226.16	0.68
9	18414	139.38	12.10	139.25	0.41	9	18414	199.33	65.33	196.63	0.51
10	18513	107.90	-32.86	106.64	0.24	10	18513	247.33	121.33	239.77	0.76
11	18514	157.68	16.70	157.46	0.53	11	18514	176.00	82.00	171.15	0.39
12	18515	170.95	-4.10	170.93	0.62	12	18515	209.83	86.33	205.34	0.56
13	18517	160.45	6.90	160.41	0.55	13	18517	178.16	19.66	177.89	0.42
14	18555	140.38	-52.56	137.90	0.40	14	18555	216.16	-4.33	216.15	0.62
15	20019	139.95	-81.43	133.89	0.38	15	20019	169.83	-53.66	167.70	0.37
16	20037	178.01	31.36	177.32	0.67	16	20037	205.00	100.00	198.80	0.52
17	6135	226.35	-22.63	226.06	1.09	17	6135	259.66	62.66	257.76	0.88
18	20418	131.65	-8.70	131.57	0.37	18	20418	236.66	56.66	234.96	0.73
19	20966	200.65	-63.36	198.13	0.84	19	20966	220.25	110.50	213.20	0.61
20	70443	170.56	14.46	170.41	0.62	20	70443	195.58	57.83	193.43	0.49
21	3454	184.48	-1.70	184.48	0.73	21	3454	186.50	43.00	185.25	0.45
22	3456	204.35	-21.30	204.07	0.89	22	3456	247.91	109.16	241.83	0.78
23	3470	213.75	98.16	208.03	0.92	23	3470	280.33	117.33	274.12	1.00
24	3474	185.51	27.70	184.99	0.73	24	3474	293.58	83.83	290.57	1.12
25	3477	180.46	-42.40	179.21	0.68	25	3477	260.33	127.33	252.42	0.85
26	3490	167.20	-21.60	166.85	0.59	26	3490	233.66	120.66	225.74	0.68
27	3643	213.23	45.80	212.01	0.96	27	3643	298.33	133.33	290.78	1.12
28	3646	207.86	116.40	199.55	0.85	28	3646	221.75	143.5	209.82	0.58

Table 6. Continued

ادامه جدول ۶-

		2019-2020						2020-2021			
شماره No.	شماره نمونه ژنتیکی/ژنوتیپ Accession/Genotype no.	میانگین حسابی MP	تحمل TOL	میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل تنش STI	شماره No.	شماره نمونه ژنتیکی/ژنوتیپ Accession/Genotype no.	میانگین حسابی MP	تحمل TOL	میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل تنش STI
29	3748	190.45	77.56	186.45	0.74	29	3748	278.08	242.83	250.17	0.83
30	3947	155.55	95.10	148.10	0.47	30	3947	181.91	107.16	173.84	0.40
31	4006	199.400	15.46	199.25	0.85	31	4006	262.00	254.00	229.16	0.70
32	4104	154.01	125.36	140.68	0.42	32	4104	200.83	178.33	179.95	0.43
33	4247	264.13	25.60	263.82	1.49	33	4247	196.500	153.00	180.99	0.43
34	4332	230.83	53.66	229.26	1.12	34	4332	208.500	117.00	200.12	0.53
35	4333	242.46	275.60	199.50	0.85	35	4333	212.25	144.5	199.57	0.53
36	4337	230.90	57.13	229.12	1.12	36	4337	258.91	151.16	247.63	0.81
37	4354	209.33	-46.00	208.06	0.92	37	4354	232.25	84.50	228.37	0.69
38	4357	256.38	48.76	255.22	1.39	38	4357	202.25	104.50	195.38	0.50
39	4461	160.83	-73.00	156.63	0.52	39	4461	254.50	39.00	253.75	0.85
40	4596	217.93	104.53	211.57	0.96	40	4596	172.33	31.33	171.61	0.39
41	4847	246.11	88.23	242.13	1.25	41	4847	181.16	-24.33	180.75	0.43
42	4891	174.00	97.33	167.05	0.59	42	4891	175.75	61.50	173.03	0.39
43	4902	223.20	27.73	222.76	1.06	43	4902	219.83	56.33	218.02	0.63
44	4904	191.55	13.76	191.42	0.78	44	4904	207.16	117.66	198.63	0.52
45	4905	182.31	41.96	181.10	0.70	45	4905	201.25	162.5	184.11	0.45
46	4910	174.18	37.03	173.19	0.64	46	4910	192.41	174.16	171.58	0.39
47	4911	250.76	82.86	247.32	1.31	47	4911	222.41	48.16	221.10	0.65
48	4923	204.95	89.23	200.03	0.85	48	4923	277.00	124.00	269.97	0.97
49	4928	187.38	70.10	184.07	0.72	49	4928	221.00	122.00	212.41	0.60
50	5008	253.86	100.4	248.85	1.32	50	5008	295.63	207.93	276.74	1.02
51	Nosrat	322.03	134.73	314.90	2.12	51	Nosrat	276.16	195.66	258.25	0.89
52	Yousef	267.61	85.90	264.14	1.49	52	Yousef	181.58	59.83	179.10	0.42
53	Nimrooz	229.43	107.53	223.04	1.06	53	Nimrooz	248.33	153.33	236.20	0.74
54	Goharan	269.25	37.83	268.58	1.54	54	Goharan	232.41	98.16	227.17	0.68
55	Mehr	251.46	106.26	245.78	1.29	55	Mehr	300.00	40.00	299.33	1.19
56	Khatam	252.81	138.30	243.17	1.26	56	Khatam	323.00	76.00	320.75	1.37

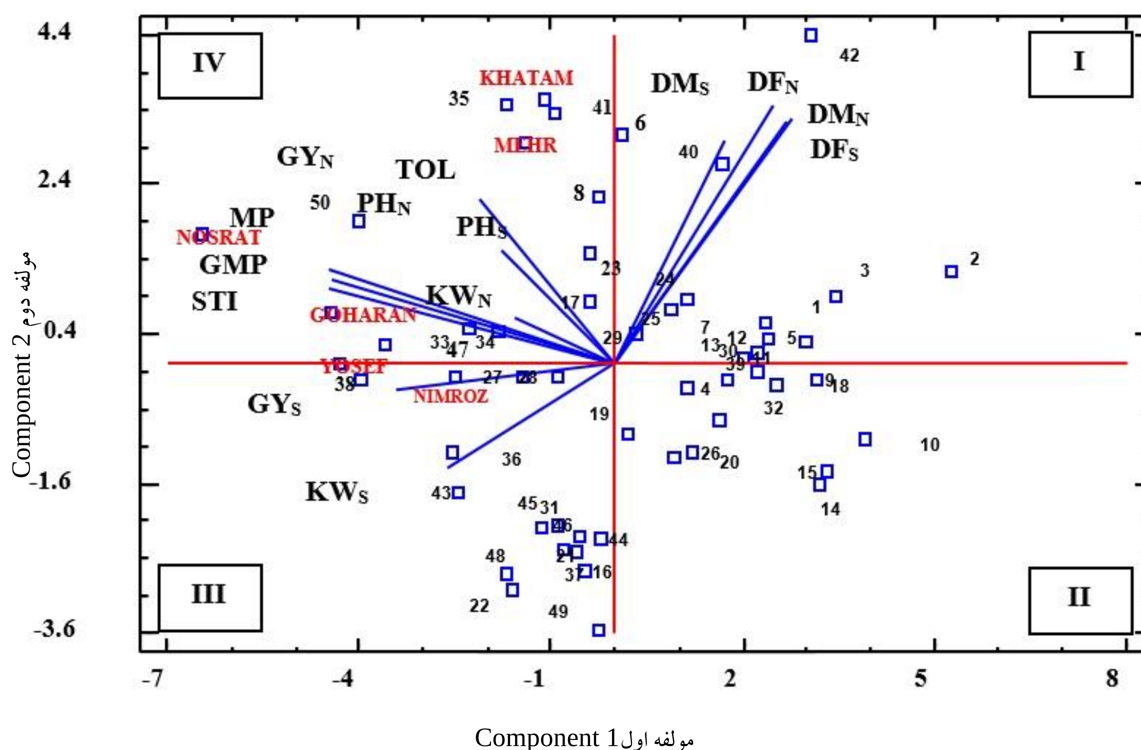
MP: Mean productivity, TOL: Tolerance, GMP: Geometric mean productivity, STI: Stress tolerance index.

به منظورمقایسه واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش شوری با در نظر گرفتن شاخص‌های تحمل تنش و بررسی ارتباط میان صفات مورد ارزیابی و شاخص‌ها، تجزیه به مولفه‌های اصلی انجام شد. تجزیه به مولفه‌های اصلی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ چهار مولفه مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند و در مجموع ۸۵/۳۴ درصد از واریانس مشاهده شده را توجیه کردند. مولفه اول و دوم در مجموع ۶۶/۲۶ درصد از واریانس را توجیه کردند. نمودار بای پلات مولفه‌های اصلی اول و دوم براساس صفات مورد ارزیابی و شاخص های تحمل به تنش برای ژنوتیپ‌های جو زراعی در شرایط بهینه و تنش شوری در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در شکل۱ نشان داده شده است.

در سال ۹۹-۱۳۹۸ صفات زراعی از جمله عملکرد دانه در شرایط بهینه و تنش (GY_S, GY_N) به همراه شاخص‌های تنش شامل میانگین عملکرد (MP)، شاخص تحمل تنش (STI)، میانگین هندسی عملکرد (GMP) که دارای بیشترین ضریب در مولفه اول بودند، بردارهایی نزدیک به یکدیگر دارند و در ربع چهارم نمودار قرار گرفتند (شکل ۱). این امر نشان می‌دهد که صفات زراعی در شرایط بهینه و تنش ارتباط نزدیکی با تحمل به تنش شوری دارد. بنابراین با توجه به شاخص شدت تنش (SI) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ (۰/۲۱)، می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ های با عملکرد دانه بالا در شرایط بهینه، در شرایط تنش شوری هم عملکرد دانه بالایی دارند (شکل ۱). علاوه براین بردار ارتفاع گیاه (PH) نیز در نزدیکی این بردارها واقع شده است. این امر ارتباط نزدیک و اهمیت ارتفاع گیاه را با عملکرد دانه گیاه جو زراعی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل۱ مشاهده می‌شود برخی ژنوتیپ‌ها مانند ژنوتیپ شماره ۵۰ (TN5008)، ۳۸ (TN4357) و ۳۳(TN4247) به همراه ارقام شاهد نصرت، گوهران و یوسف در این ربع نمودار و در نزدیکی بردار شاخص تحمل تنش(STI) قرارگرفتند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات زراعی و شاخص‌های تحمل به تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشتند (شکل ۲).

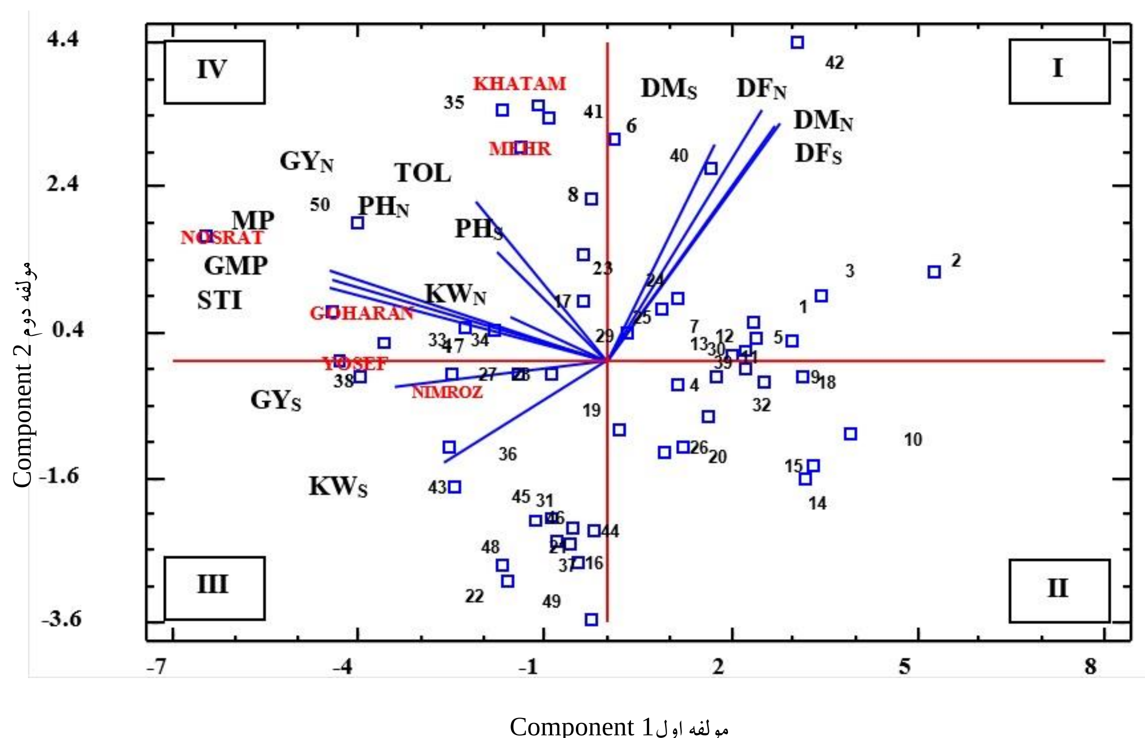
نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نیز نشان داد که چهار مولفه که مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند در مجموع ۸۶/۳۳ درصد از واریانس مشاهده شده را توجیه کردند. مولفه اول و دوم در مجموع ۶۵/۴۲ درصد از واریانس را توجیه نمودند. نمودار بای پلات مولفه های اصلی اول و دوم براساس صفات مورد ارزیابی و شاخص های تحمل تنش در ژنوتیپ‌های جوزراعی در شرایط بهینه و تنش شوری در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نشان داد که در این سال صفات زراعی از جمله عملکرد دانه در شرایط تنش(GY_S) به همراه شاخص‌های تنش شامل میانگین عملکرد (MP)، شاخص تحمل تنش (STI)، میانگین هندسی

عملکـرد (GMP) کـه دارای بیشــترین ضــریب برای مولفـه دوم بودنـد، بردارهـایی نزدیـک بـه یکدیگر دارند و در ربع اول نمودار قرار گرفتند (شکل ۲).



شکل۱– نمودار بای پلات دو مولفه اصلی برای صفات مـورد ارزیـابی و شـاخص هـای تحمـل بـه تـنش شوری برای ژنوتیپ هـای جـو زراعـی در سـال زراعـی ۹۹-۱۳۹۸. STI: شـاخص تحمـل تـنش، GMP: میانگین هندسی عملکرد، MP: میانگین حسابی عملکرد، TOL: تحمل، GY_N: عملکرد دانه بهینـه، PH_N: ارتفاع گیاه بهینه، KW_N: وزن هزار دانه بهینه، DF_N: تعـداد روز تـا گلـدهی بهینـه، DM_N: تعـداد روز تـا رسیدن بهینه، GY_S: عملکرد دانه تنش، PH_S: ارتفـاع گیـاه تـنش ، KW_S: وزن هـزار دانـه تـنش ، DF_S: تعداد روز تا گلدهی تنش ، DM_S: تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی تنش

Fig. 1. Bi-plot of first two principal components for evaluated traits and salt stress indices in cultivated barley genotypes in 2019-2020 cropping season STI: stress tolerance index, GMP: geometric mean productivity, TOL:Tolerance, MP: Mean productivity, GY_N: optimum-grain yield, PH_N: optimum- plant height, KW_N: optimum-1000 kernel weight, DF_N: optimum- days to flowering, DM_N: optimum- days to physiological maturity, GY_S: stress -grain yield, PH_S: stress -plant height, KW_S: stress-1000 kernel weight, DF_S: stress- days to flowering, DM_S: stress-days to physiological maturity, PH_S: stress- plant height



شکل۲- نمودار بای پلات دو مولفه اصلی برای صفات مورد ارزیابی و شاخص های تنش شوری در ژنوتیپ های جو زراعی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹. STI: شاخص تحمل تنش، GMP: میانگین هندسی عملکرد، MP: میانگین حسابی عملکرد، TOL: تحمل، GY_N: عملکرد دانه بهینه، PH_N: ارتفاع گیاه بهینه، KW_N: وزن هزار دانه بهینه، DF_N: تعداد روز تا گلدهی بهینه، DM_N: تعداد روز تا رسیدن بهینه، GY_S: عملکرد دانه تنش، PH_S: ارتفاع گیاه تنش ، KW_S: وزن هزار دانه تنش ، DF_S: تعداد روز تا گلدهی تنش ، DM_S: تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی تنش

Fig. 2. Bi-plot of first two principal components for evaluated traits and salt stress indices in cultivated barley genotypes in 2020-2021 cropping season STI: stress tolerance index, GMP: geometric mean productivity, TOL:Tolerance, MP: Mean productivity, GY_N: optimum-grain yield, PH_N: optimum- plant height, KW_N: optimum-1000 kernel weight, DF_N: optimum- days to flowering, DM_N: optimum- days to physiological maturity, GY_S: stress -grain yield, PH_S: stress -plant height, KW_S: stress-1000 kernel weight, DF_S: stress- days to flowering, DM_S: stress-days to physiological maturity, PH_S: stress- plant height

همانطور که در شکل۲ مشاهده می‌شود بردار خصوصیات فنولوژیکی در کنار هم و در ربع دوم نمودار قرار دارند. در ربع سوم نمودار وزن هزاردانه در شرایط بهینه و تنش قرار دارند و در ربع چهارم بردار عملکرد دانه در شرایط بهینه و ارتفاع گیاه به همراه شاخص تحمل

(TOL) قرار دارد. ژنوتیپ‌هایی که در این ربع و در نزدیکی بردار شاخص تحمل (TOL) قرار دارند، افت عملکرد کمتری در اثر تنش نشان دادند، هرچند که در مجموع عملکرد بالایی تولید نکردند، ژنوتیپ‌های شماره ۴۹ (TN4928)، ۳۷ (TN4354)، ۴۳ (TN4902) و ۳۱ (TN4006) به همراه رقم گوهران و نیمروز از این جمله بودند. ژنوتیپ‌های که در ربع اول نمودار و نزدیک بردارهای شاخص‌های میانگین عملکرد (MP)، شاخص تحمل تنش (STI)، میانگین هندسی عملکرد (GMP) قرار دارند، شامل ژنوتیپ شماره ۲۴ (TN3474) و ۲۷ (TN3643) به همراه ارقام شاهد خاتم و مهر در این ربع نمودار قرارگرفتند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات زراعی و شاخص‌های تحمل به تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشتند.

در مطالعات ارزیابی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های مختلف از شاخص های به تحمل تنش برای غربالگری سریع و راحت استفاده می شود (Tao *et al.*, 2021; Javed *et al.*, 2022). شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) با در نظر گرفتن عملکرد پتانسیل و تنش به طور همزمان، قابلیت انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها برای شرایط تنش و بهینه را به وجود می آورند و همبستگی بالای مشاهده شده بین این شاخص‌ها و عملکرد دانه در شرایط بهینه و تنش شوری در این پژوهش این موضوع را تایید کردند بنابراین، به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر مد نظر قرار گرفتند.

در پژوهش حاضر عملکرد دانه معیار ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌ها بود و شاخص های تحمل به تنش بر اساس آن محاسبه شد. بر اساس نتایج به دست آمده واکنش ژنوتیپ‌ها در دو سال آزمایش متفاوت بود. در سال اول آزمایش ژنوتیپ‌های شماره ۵۰ (TN5008)، ۳۳ (TN4247) و ۳۸ (TN4357) به همراه ارقام شاهد نصرت، گوهران و یوسف از نظر صفات زراعی و شاخص‌های تحمل به تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشتند. براساس اطلاعات موجود، محل جمع‌آوری ژنوتیپ شماره ۵۰، استان آذربایجان غربی، و برای ژنوتیپ های شماره‌های ۳۳ و ۳۸ استان فارس می‌باشد (جدول ۱). در سال دوم ژنوتیپ شماره۲۴ (TN3474) و ۲۷ (TN3643) به همراه ارقام متحمل به شوری خاتم و مهر عملکرد دانه بالاتری داشتند. محل جمع‌آوری این دو ژنوتیپ به ترتیب استانهای کرمان و فارس می‌باشد (جدول ۱). شهرستان محل جمع‌آوری ژنوتیپ شماره ۲۴ جیرفت می‌باشد که از نظر طبقه‌بندی‌های اقلیمی دارای اقلیم گرم خشک و نیمه خشک می‌باشد.

پاسخ رشد گیاه نسبت به تنش شوری در مراحل مختلف چرخه زندگی گیاه متفاوت است. معیارهای ارزیابی و غربالگری تحمل به شوری در گیاهان زراعی بسته به سطح و شدت تنش شوری و مرحله رشد گیاه متفاوت است (Neumann, 1997). بررسی شاخص شدت

تـنش (SI) در دو سـال آزمـایش نشـان داد ایـن شاخص در سـال زراعـی ۹۹-۱۳۹۸، ۰/۲۱ و در سـال زراعـی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ایـن شـاخص ۰/۳۲ برآورد شد. بنابراین، شـدت تـنش در سـال دوم آزمایش بیشتر بود. پژوهش های قبلی نیـز نشـان داده است که در شرایط تـنش شـوری پـایین تـا متوســط، ظرفیــت عملکــرد دانــه ژنوتیــپ، مناسب‌ترین معیار برای ارزیابی تحمـل بـه تـنش شوری است، در حالی‌که در سطوح شوری نسبتاً بالا توانایی بقا به عنوان معیـار شـناخته مـی شـود (Epstein *et al.*, 1980). بنـابراین، بـر اسـاس محاسبه شاخص شدت تـنش در ایـن آزمـایش، شدت تنش در محـدوده مناسـبی بـرای انتخـاب ژنوتیـپ‌هـای برتـر بـود. بـه ویـژه در سـال دوم آزمایش که ژنوتیپ‌هـای برتـر بـه همـراه ارقـام شاهد متحمل به شوری متمایز شدند.

تفاوت نتایج دو سال آزمـایش نشـان داد کـه در سال اول ژنوتیپ‌های با عملکرد دانـه بـالا در شــرایط تــنش ملایــم شــوری و در ســال دوم ژنوتیپ‌های متحمـل بـه تـنش شـوری شناسـایی شدند. قرار گرفتن ارقام متحمل به شوری خـاتم و مهر در بین ژنوتیپ‌های برتر تایید کننـده ایـن امـر بـود. افـزایش سـطح زیـر کشـت جـو در خـا ک هـای شـور، تنهـا بـا ژنوتیـپ سـازگار و متحمــل، و در نظــر گــرفتن مــدیریت مناســب شــــرایط خــــاک، آب، و اکولــــوژی منطقــــه مقدوراسـت (Al Menale *et al.*, 2005). در واقـع نوسـانات و تغییـرات عوامـل اقلیمـی در سال‌های مختلف تاثیر بسـزایی در تعیـین شـدت تـنش واقـع شـده، دارنـد و شـدت تـنش بـر ژنوتیپ‌های برتر معرفـی شـده در هـر آزمـایش تاثیر بسزایی دارد. بنابراین، بـه نظـر مـی‌رسـد بـه منظور شناسایی دقیق ژنوتیپ‌های برتـر و پایـدار در شرایط اقلیمی هر منطقه، لازم است مطالعات دقیـق چنـد سـاله بـا درنظـر گـرفتن شـرایط و تغییرات کوتاه مدت آب و هوایی و بلنـد مـدت اقلیمی انجام شود.

سپاسگزاری

نگارندگان بدین وسـیله از مـدیریت موسسـه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال وبـذر بـرای تـامین اعتبـارات لازم بـرای اجـرای ایـن پـژوهش و کارکنـان ایسـتگاه تحقیقـات کشـاورزی یـزد و اردکـان کـه در اجـرای ایـن پـروژه پژوهشـی همکاری کردند، سپاسگزاری می کنند.

References

Al-Menale, H. S., Calingari, P. D., and Forster, B. P. 2005. Development of salt tolerant barley for sustainable agriculture in Kuwait. Options Mediterraneennes 81: 369-372.

Emadodin, I., Narita, D. and Bork, H. R. 2012. Soil degradation and agricultural

sustainability: an overview from Iran. Environment, development and sustainability 14: 611-625.

Epstein, E., Norlyn, J. D., Rush, D. W., Kingsbury, R. W., Kelly, D. B., Cunningham, G. A., and Wrona, A. F. 1980. Saline culture of crops: a genetic approach. Science 210:399–404.

FAO, 2015. Extent of salt-affected soils. http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/management-of-some-problem-soils/salt-affected-soils/more-information-on-salt-affected-soils/en/

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (ed.). pp. 257-270. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, AVRDC Publication, Tainan,

Fischer, A. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars: I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29: 894-912.

Ghazvini, H., Nikkhah, H. R., Yousefi, A., Mahlouji, M., Ravari, Z., Sharifalhossaini, M., Morovati, Y., and Arazmjoo, M,**. 2016.** Khatam, a new irrigated barley cultivar with wide adaptability in the saline marginal areas of temperate argo- climate zone of Iran. Research Achievements for Field and Horticulture Crops 5 (2): 119-132. (in Persian).

Isayenkov, S. V. 2019. Genetic sources for the development of salt tolerance in crops. Plant Growth Regulation 89: 1-17.

Javed, M. M., Al-Doss, A. A., Tahir, M. U., Khan, M. A., and El-Hendawy, S. 2022. Assessing the Suitability of Selection Approaches and Genetic Diversity Analysis for Early Detection of Salt Tolerance of Barley Genotypes. Agronomy 12: 3217. https://doi.org/10.3390/agronomy12123217.

Kuang, L., Shen, Q., Wu, L., Yu, J., Fu, L., Wu, D., and Zhang, G. 2019. Identification of microRNAs responding to salt stress in barley by high-throughput sequencing and degradome analysis. Environmental and Experimental Botany160: 59-70.

Luo, Q., Teng, W., Fang, S., Li, H., Li, B., Chu, J., Li, Z., and Zhang, Q. 2019. Transcriptome analysis of salt-stress response in three seedling tissues of common wheat. Crop Journal 7: 378-392.

Mano, Y., and Takeda, K. 1998. Genetic resources of salt tolerance in wild *Hordeum*

species. Euphytica 103: 137–141.

Mansour, E., Moustafa, E. S. A., Abdul-Hamid, M. I. E., Ash-shormillesy, S. M. A. I., Merwad, A. M. A., Wafa, H. A., and Igartua, E. 2021. Field responses of barley genotypes across a salinity gradient in an arid Mediterranean environment. Agricultural Water Management 258: 107206. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107206

Munns, R., 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist 167: 645-663.

Munns, R., and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651-681.

Munns, R., Day, D. A., Fricke, W., Watt, M., Arsova, B., Barkla, B. J., Bose, J., Byrt, C.S., Chen, Z.H., Foster, K.J. and Gilliham, M. 2019. Energy costs of salt tolerance in crop plants. New Phytologist 225: 1072-1090.

Neumann, P. 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. Plant, Cell & Environment 20:1193-1198.

Nikkhah, H. R., Tabatabaee, S. A., Yousefi, A., Ghazvini, H., Saberi, H., Tajali, H., Mahlooji, M., Binabaji, M. H., Aghnoum, R., Dehghan, M. A., Zakeri, A. and Safavi, S. A. 2019. Mehr, Barley cultivar tolerant to salt stress for cultivation in the temperate climate of the country. Research Achievements for Field and Horticulture Crops 7 (2): 235-249. (in Persian).

Pour-Aboughadareh, A., Sanjani, S., Nikkhah-Chamanabad, H. Mehrvar, M. R., Asadi, A. and Amini, A. 2021. Identification of salt-tolerant barley genotypes using multiple-traits index and yield performance at the early growth and maturity stages. Bulletin of the National Research Centre 45: 117. https://doi.org/10.1186/s42269-021-00576-0.

Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R., and Sarwar, M. I., Shoukat, A., Ul Hussan, M., Sarwar, M. I. 2019. A review: Impact of salinity on plant growth. Natural Sciences1: 34-40.

Sergey, S. 2013. Learning from halophytes: physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops. Annals of Botany 112: 1209–1221.

Smajgl, A., Toan, T. Q., Nhan, D. K., Ward, J., Trung, N. H., Tri, L. Q., Tri, V. P. D., and Vu, P. T. 2015. Responding to rising sea levels in the Mekong Delta. Nature Climate Change 5: 167-174.

Shahmoradi, Sh., Tabatabaie, S. A., and Pouresmaeil, M. 2018. Analysis and

classification of salt tolerance in native barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm of Iran. Iranian Journal of Crop Science 19 (4): 319-333. (in Persian).

Shahmoradi, Sh. 2021. Exploiting the morphological and phenological diversity in barley landraces of Iran. Desert 26 (2): 267-278.

Shrivastava, P., and Kumar, R. 2015. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. Saudi Journal of Biological Sciences 22: 123-131.

Tao, R., Ding, J., Li, C., Zhu, X., Guo, W., and Zhu, M. 2021. Evaluating and screening of agro-physiological indices for salinity stress tolerance in wheat at the seedling stage. Frontiers in Plant Science 12:646175.

Zhu, J. K. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Current Opinion in Plant Biology 6: 441-445.

Evaluation of Salinity Stress Tolerance of Cultivated Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes

Sh. Shahmoradi[1*] and S. A. Tabatabaie [2]

1. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
2. Associate Professor, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran.

ABSTRACT

Shahmoradi, Sh., and Tabatabaie, S. A. 2022. Evaluation of salinity stress tolerance of cultivated barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. **Seed and Plant Journal 38:** 259-281 (in Persian).

To identify salinity tolerant cultivated genotypes, 50 barley genotypes originated from Iran were evaluated in a field experiment during 2019-2020 and 2020-2021 cropping seasons in Yazd; Optimum experiment at Yazd central field station, and stress experiment in Ardakan field station, Iran. Six improved barley cultivars; Mehr and Khatam (Salinity tolerant), Nosrat, Nimrooz, Yousef and Gohran were also included in the experiments. The experiments were carried out using 8×7 rectangular lattice design with three replications. Phenological traits, grain yield and 1000-kernel weight were measured in all genotypes under optimum and salinity stress conditions. The electrical conductivity of soil and irrigation water in optimum condition was 3.4 and 3.6 dS m^{-1}, and in the salinity condition, it was 14 and 10 dS m^{-1}, respectively. The stress intensity index (SI) was 0.21 and 0.32 in 2019-20 and 2020-21 cropping seasons, repectively, which indicated higher stress intensity in the second year in the stress experiment. The mean grain yield under optimum and salt stress conditions in 2019-20 was 215 and 174 g m^{-2}, respectively. In 2020-21 cropping season, mean grain yiled under optimum stress conditions were 271.9 and 184 g m^{-2}, respectively. Combined analysis of traits showed that the of year × salinity stress × genotype interaction effect was significant on evaluated traits. Based on the results of principle component analysis and stress indices in 2019-20 cropping season, genotypes no. 50 (TN5008), 33 (TN4247) and 38 (TN4357) were superior genotypes. While in 2020-21 cropping season genotypes no. 24 (TN3474) and 27 (TN3643) together with salinity tolerant barley cultivars; Khatam and Mehr had higher grain yield. The collecting site of these two genotypes is Kerman province and Fars province, respectively. Based on the results of this research, tolerant cultivated barley genotypes were identified for further studies.

Keywords: Barley, stress intensity index, genetic diversity, adaptation, grain yield.

[*]**Corresponding author:** shakibashahmoradi@gmail.com **Tel.:** +98262701260

Received: 07 July 2022
Accepted: 14 October 2022